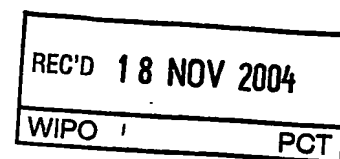


30. 9. 2004

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年10月 2日
Date of Application:

出願番号 特願2003-344412
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-344412]

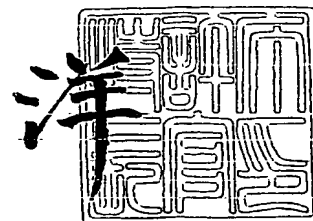
出願人 キヤノン株式会社
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年11月 5日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願
【整理番号】 254546
【提出日】 平成15年10月 2日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 G02B 6/122
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キャノン株式会社内
 【氏名】 岡本 康平
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キャノン株式会社内
 【氏名】 矢野 亨治
【特許出願人】
 【識別番号】 000001007
 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 【氏名又は名称】 キャノン株式会社
 【代表者】 御手洗 富士夫
【代理人】
 【識別番号】 100090538
 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キャノン株式会社内
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 西山 恵三
 【電話番号】 03-3758-2111
【選任した代理人】
 【識別番号】 100096965
 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キャノン株式会社内
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 内尾 裕一
 【電話番号】 03-3758-2111
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 011224
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9908388

【書類名】特許請求の範囲**【請求項 1】**

励起エネルギーにより反応を起こして物性が変化する被加工物に、前記励起エネルギーの自然数分の一の光子エネルギーを含む光を入射させて被加工物を加工し、周期構造体を製造する方法であって、前記励起エネルギーの自然数分の一の光子エネルギーを含む光を、2次元の周期で規則的に配置した複数の光源群から発生させ、前記光源群からの光を被加工物内の複数の集光点に集光するように照射することにより、前記集光点を中心とした領域に前記光反応を生じさせ、前記被加工物中に物性の変化した領域の周期構造を形成することを特徴とする周期構造体の製造方法。

【請求項 2】

前記光反応が多光子吸収反応である請求項 1 に記載の周期構造体の製造方法。

【請求項 3】

前記光源群からの光を集光光学系を介して被加工物に照射する請求項 1 に記載の周期構造体の製造方法。

【請求項 4】

前記光源群からの光がコヒーレント光であって、光源群からの光を被加工物中で干渉させて集光させる請求項 1 に記載の周期構造体の製造方法。

【請求項 5】

前記光源群からの光が単一の光源から作られる請求項 1 に記載の周期構造体の製造方法。

【請求項 6】

前記光源群が、前記特定の値の自然数分の一の光子エネルギーを含む光を発生させる単一の光源と、面内に周期的に配列された複数の微小孔を有するマスクとからなり、前記マスクの一方の面に前記光を入射し、前記マスクのもう一方の面から前記光のうち各前記微小孔を通った複数の出射光を出射させるものであることを特徴とする請求項 1 に記載の周期構造体の製造方法。

【請求項 7】

前記光源群が、前記特定の値の自然数分の一の光子エネルギーを含む光を発生させる単一の光源と、面内に周期的に配列された複数の微小レンズを有する微小レンズアレイ基板とからなり、前記微小レンズアレイの一方の面に前記光を入射し、もう一方の面から出射させるものであることを特徴とする請求項 1 に記載の周期構造体の製造方法。

【請求項 8】

前記光源群が、前記特定の値の自然数分の一の光子エネルギーを含む光を発生させる単一の光源と、一方の端に微小レンズを配置した複数の光ファイバを規則的に束ねた光ファイバ束とからなり、前記光源からの光を前記光ファイバ束の前記微小レンズを配置されていない方の端より入射し、前記光ファイバの前記光を導入する端とは反対の端から出射するものであることを特徴とする請求項 1 に記載の周期構造体の製造方法。

【請求項 9】

前記集光点と前記被加工物の位置を相対的に移動することにより、前記周期構造を3次元的に形成することを特徴とする請求項 1 に記載の周期構造体の製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】3次元構造体の製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は3次元的な構造体の製造方法、特に3次元のフォトニック結晶の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

最近では、半導体プロセス技術に見るように可視光波長より微細な加工技術や加工装置が実現されている。また電子素子ではなくフォトニック結晶などのように光の波長レベルの構造を有する光素子の加工技術、加工装置も実現されている。特に光素子の分野では、非特許文献1にあるように、electron-beam lithographyとreactive-ion-beam etchingを用いて二次元のエアブリッジタイプのフォトニック結晶を作製する方法が提案されている。また、非特許文献2では、基板上に作製した二次元周期構造上に異物質を交互に積層していくことによる自己クローニング法を用いて、三次元のフォトニック結晶を作製する方法が提案されている。また、非特許文献3のように、微小なSi球を溶媒中で配列することにより三次元のフォトニック結晶を作製する方法が提案されている。

【非特許文献1】Physical Review Letters, Vol. 86, Num. 11, p. 2289

【非特許文献2】Applied Physics Letter, Vol. 77, No. 26, p. 4256

【非特許文献3】Nature, vol. 414, p289

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかし、半導体プロセス技術によると二次元方向の任意な構造の作製は可能であるが、高さ方向の加工は成膜技術によるので、三次元方向に微細な周期構造を作製することは極めて困難である。また基板上の二次元周期構造上に異物質を交互に積層してゆく方法は、基板の清浄性や平坦性が要求する加工への厳しさや、積層にかかる時間が非常に長いこと、また積層する物質を入れ替えたり成膜時に真空度を上げたりする手間がかかるなどの困難が存在する。また、溶媒中でスチレン球を配列させることによる方法も基板の平坦性の確保や作製雰囲気中の温度や湿度の制御、さらに配列のための時間が日または月単位で生じてくるなどの問題が存在する。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明は、励起エネルギーにより反応を起こして物性が変化する被加工物に、前記励起エネルギーの自然数分の一の光子エネルギーを含む光を入射させて被加工物を加工し、周期構造体を製造する方法であって、前記励起エネルギーの自然数分の一の光子エネルギーを含む光を、2次元の周期で規則的に配置した複数の光源群から発生させ、前記光源群からの光を被加工物内の複数の集光点に集光するように照射することにより、前記集光点を中心とした領域に前記光反応を生じさせ、前記被加工物中に物性の変化した領域の周期構造を形成することを特徴とする。

【発明の効果】

【0005】

本発明によれば、単一の構造のみならず複数の数10ナノメートルから数100ナノメートルサイズの構造からなる三次元の微細周期構造を簡素な構成で、短時間に少ない手間で作製することが出来る。特に多光子過程を経た反応を加工に用いることにより精度の高い加工が可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

本発明の周期構造体の作製は、反応を起こすのに必要な励起エネルギーの $1/N$ (N は自然数) に相当する光子エネルギーの光を照射することにより単光子 ($N=1$ のとき) または多光子 (N が 2 以上のとき) 吸収によって反応し、屈折率などの物性が変化する物質を被加工物とする。このような光を被加工物に入射することにより加工を行い、被加工物のうち反応により物性の変化した部分よりなる微細超周期構造を作製する。被加工物としては例えば光を与えられることにより重合反応を起こすエポキシ系樹脂やウレタンアクリレート系樹脂などの光硬化樹脂やレジスト等が挙げられる。

【0007】

本発明の周期構造体の製造方法の 1 つは、特定の値の励起エネルギーを与えられることにより反応を起こしてその物性が変化する被加工物に、前記特定の値の自然数分の一の光子エネルギーを含む複数の集束光を入射することにより、微細周期構造を作製する。複数の集束光からなる集束光群を発生させる集束光群発生手段を用いて集束光群を発生させ、前記集束光群をなす各集束光が作る集光点が被加工物の内部に位置するように前記集光点よりなる集光点アレイと被加工物を相対配置させて、前記集束光群を前記被加工物に入射させることにより、前記被加工物中の前記集光点を中心とした領域に反応を起こしてその領域の物性を変化させて加工し、物性の変化した複数の前記領域が周期的に配列した微細周期構造を作製する。

【0008】

また別の本発明の微細超周期構造作製方法は、コヒーレントな発散光群を被加工物に入射することにより被加工物を加工するものであり、入射された発散光群は被加工物中で各発散光が干渉することにより光の周期的な強度分布を形成する。例えば単一の値の光子エネルギーをもつ二つの発散光を空間的に重ねた場合、二つの発散光が重なる領域では二つの発散光が干渉しあい、その干渉構造が光の強度分布として現れる。本発明においては、この光の強度分布を被加工物中に形成し、強度分布のうち被加工物が反応を起こすのに必要な強度を満たす部分の被加工物を反応させてその物性を変化させて加工を行う。

【0009】

以上の収束光または発散光を被加工物に入射すると、被加工物は光の強度分布に応じて反応する部分と反応しない部分に分かれる。例えば被加工物として光効果樹脂を用いた場合、被加工物の中の光の強度が強い部分は反応して硬化し、光の強度が反応のための閾値より弱い部分は硬化せずに液体状態を保つ。硬化していない液体状態の樹脂を洗浄し取り除けば、硬化した樹脂が光の波長つまり数百ナノメートルオーダーの屈折率周期をもつ微細超周期構造として残り、本微細超周期構造作製方法により微細超周期構造を作製できる。

【0010】

本発明における集束光とは、その伝播方向と垂直な面を貫く光の面積が小さくなりあるところで面積が最小となりその後また伝播とともに面積が次第に大きくなる光であり、この面積が最小になるところの中心を集光点とする。例えば平行光のレーザー光を凸レンズを通した後の光であり、この場合集光点はレンズの焦点に一致する。

【0011】

特定の光子エネルギーとは、被加工物が反応を起こすために必要なエネルギーつまり特定の値の励起エネルギーの値の自然数分の一に相当する値の光子エネルギーである。例えば、被加工物が反応を起こすために必要なエネルギーの値と同じ値の光子エネルギーを有する集束光を被加工物に入射した場合、被加工物中の集光点付近のエネルギー密度のみが反応がおこるためのエネルギー密度の閾値を越えるように集束光の強度を調節することにより、被加工物中の集光点付近だけに反応を起こすことが出来て局所的に微細な加工が可能である。また例えば被加工物が反応を起こすために必要なエネルギーの値の二分の一の値の光子エネルギーを有する光を被加工物に照射したとすれば、被加工物はこの光により二光子過程を経て反応を起こすことになる。二光子過程のような高次の非線形光学過程は物質中でもエネルギーが非常に高くなければ顕著に表れないため、被加工物中に光ビーム

を絞って入射した場合、光ビームのビーム径が最も小さくなる部分とその近傍の部分でのみこのような高次の非線形光学過程を経た反応が起こるため、局所的に非常に微細な加工を行うことが出来る。

【0012】

また集束光群とは複数の集束光からなるものであり、集束光群をなす各集束光は互いに近接しているかまたは空間的に重なりを有してもよい。ただし、集束光群中の集束光の各集束光点は互いに一致しないものである。集束光群として例えば、互いに平行な複数のレーザービームを同一の凸レンズに入射した場合、凸レンズから出射される集束光群が得られる。

【0013】

また、集束光群中の各集束光は伝播経路上に必ず集光点を有するが、集束光群中の全ての集束光が有する集光点をまとめて集光点アレイとする。

【0014】

本明細書中の発散光とは、光軸に垂直な面を光が貫く面積が光の進行とともに大きくなるような光をいう。例えば、平行光を凹レンズに通したとき出射される光や、平行光を凸レンズに通したとき凸レンズから出射した光が焦点を結んだあと伝播してゆく光や、点光源から放出される光などである。また、この発散光はコヒーレントなものであり、例えば単一の値の光子エネルギーをもつ二つの発散光を空間的に重ねた場合、二つの発散光が重なる領域では二つの発散光が干渉しあい、その干渉構造が光の強度分布として現れる。本発明においては、この光の強度分布を被加工物中に形成し、強度分布のうち被加工物が反応を起こすのに必要な強度を満たす部分の被加工物を反応させてその物性を変化させて加工を行う。

【0015】

また本明細書中において複数の発散光が空間的に重なりを有するとは、各発散光がコヒーレンスを有する領域において複数の発散光が重なっていることを意味し、複数の発散光がその領域で干渉し干渉による光の強度分布が生じている状態を指す。

【0016】

また本明細書中における発散光群とは複数の発散光よりなるものであり、発散光群をなす各発散光は互いに空間的に重なりを有するものであり、本微細超周期構造作製装置はこのような発散光群を発生させるための発散光群発生機構を備えている。

【0017】

(マスクによる光源群の構成)

上記複数の箇所から光を発生させる手段(以下光源群という)を、特定の光子エネルギーを含む光を発生させる単一の光源と、その面内に複数の微小孔が周期的に配列されたマスクと、集光系とを用いたものとする事ができる。特定の光子エネルギーを含む光をマスクの一方の面に入射すると、この光の一部はマスクの微小孔を通りマスクのもう一方の面において各微小孔から発散光として出射される。複数の微小孔から出射された複数の発散光を集光系により複数の集束光つまり集束光群に変換する。例えば集光系を凸レンズ2枚を用いて構成することができる。複数の発散光を一枚目の凸レンズを通すことにより複数の平行光に変換し、この複数の平行光を二枚目の凸レンズを通すことにより複数の集束光つまり集束光群に変換することができる。このように集束光群発生手段にマスクを用いた場合、マスクの微小孔はマスクの面に平行な面上に二次元的に周期的に配列しているので、集束光群の有する集光点アレイの配列も二次元的に周期的なものとする事が出来、加工の際には集光点アレイが被加工物中の所定の位置にあるように駆動制御することにより、被加工物中の所定の位置に二次元的に周期的な微細超周期構造を一度の加工で作製することが出来る。ここでの所定の位置とは被加工物中の加工すべき箇所である。さらに、一度目の加工後駆動制御手段により被加工物と被加工物中の集光点アレイの相対的な位置をずらしてさらに二度目の加工を行ったり、被加工物と被加工物中の集光点アレイの相対的な位置を駆動しながら加工を行うことにより、空間的に三次元的な微細超周期構造を被加工物中に容易に作製することが出来る。駆動制御手段としては、マスク、集光系、被加工物

のいずれかを駆動するものとできる。例えば被加工物以外を固定して、被加工物を圧電素子などで支持して圧電素子を電氣的に駆動するものが挙げられる。これにより被加工物を電氣的に駆動制御することができ被加工物と集光点アレイを相対的に駆動制御することができる。

【0018】

上記光源群の構成において、集光系を用いず発散光源群とすることも可能である。この場合は、発散光の干渉により集光点アレイが形成される。

【0019】

(レンズアレイを用いる光源群)

また光源群を、特定の光子エネルギーを含む光を発生させる光源と、その面内に複数の微小レンズが周期的に配列された微小レンズアレイを具備する微小レンズアレイ基板とを用いたものとすることもできる。微小レンズアレイ基板としては例えば金型で樹脂を固めることにより作製されたマイクロレンズアレイ基板や微小球レンズをガラス基板上に配列させて並べた微小球レンズアレイ基板などが挙げられる特定の光子エネルギーを含む光を微小レンズアレイ基板の一方の面に入射すると、この光は複数の微小レンズを通り微小レンズアレイ基板のもう一方の面において各微小孔から集束光として出射される。つまり集束光群を発生させることができる。このように集束光群発生手段に微小レンズアレイ基板を用いた場合、微小レンズアレイ基板の微小レンズは微小レンズアレイ基板の面に平行な面上に二次元的に周期的に配列しているので、集束光群の有する集光点アレイの配列も二次元的に周期的なものとなることが出来、加工の際には集光点アレイが試料中の所定の位置にあるように駆動制御することにより、被加工物中の所定の位置に二次元的に周期的な微細周期構造を一度の加工で作製することが出来る。ここでの所定の位置とは被加工物中の加工すべき箇所である。さらに、一度目の加工後駆動制御手段により被加工物と被加工物中の集光点アレイの相対的な位置をずらしてさらに二度目の加工を行ったり、被加工物と被加工物中の集光点アレイの相対的な位置を駆動しながら加工を行うことにより、空間的に三次元的な微細周期構造を被加工物中に容易に作製することが出来る。駆動制御手段としては、微小レンズアレイ基板、被加工物のいずれかを駆動するものとできる。例えば被加工物以外を固定して、被加工物を圧電素子などで支持して圧電素子を電氣的に駆動するものが挙げられる。これにより被加工物を電氣的に駆動制御することができ被加工物と集光点アレイを相対的に駆動制御することができる。

【0020】

(光ファイバを用いる光源群)

別の光源群として、特定の光子エネルギーを含む光を発生させる光源と、一方の端に微小レンズが配置された複数の光ファイバを規則的に束ねた光ファイバ束とでなるものとすることも出来る。このような構成にした場合、光源、光ファイバ束の微小レンズを有する端を含む部分、被加工物のうち少なくとも一つを駆動制御することにより、集束光群が被加工物中に有する集光点アレイと被加工物との相対的な位置を駆動制御することができる。光ファイバ束とは光ファイバを束ねたものであるが、構成する光ファイバのうち少なくとも二本はその一方の端に微小レンズが配置されており、一方の端に微小レンズが配置された少なくとも二本の光ファイバの微小レンズが配置された端は互いに同じ側にある。また束ねられた光ファイバ束の微小レンズを有する端において、光ファイバ側を構成する全ての光ファイバ束の端は規則的または周期的に配列していて、このように配列して束ねられたことを本明細書中において規則的に束ねられたと表現する。例えば一方の端に光ファイバの径と等しい径を有する微小レンズを有する六本の光ファイバと微小レンズを有さない一本の光ファイバで光ファイバ束を構成し全ての光ファイバの径が等しいとしたときに、光ファイバ束の微小レンズを有する端における各光ファイバの端を、微小レンズを有さない一本の光ファイバの端の周りに全ての微小レンズが接触するように二次元的に配置することが挙げられる。このように微小レンズを有する端において全ての光ファイバの端が規則的または周期的に配列されている光ファイバ束の微小レンズを有さない方の端にある、微小レンズを有する少なくとも二本の光ファイバの端に例えば平行光であるレーザービ

ームを入射することにより、光ファイバ束の微小レンズを有する端において、レーザービームを入射された複数の光ファイバの微小レンズから集束光が出射される。すなわち集束光群が発生されることになる。このように集束光群発生手段に光ファイバ束を用いた場合、光ファイバ束の微小レンズを有する端において光ファイバ束を構成する全ての光ファイバの端と微小レンズは規則的または周期的に配列しているので、集束光群の有する集光点アレイの配列も規則的または周期的なものとする事が出来、加工の際には集光点アレイが被加工物中の所定の位置にあるように駆動制御することにより、被加工物中の所定の位置に規則的または周期的な微細周期構造を一度の加工で作製することが出来る。また、光ファイバ束を集束光群発生機構に用いることでその構成を簡素にすることが出来る。ここでの所定の位置とは被加工物中の加工するべき箇所である。さらに、一度目の加工後駆動制御手段により被加工物と被加工物中の集光点アレイの相対的な位置をずらしてさらに二度目の加工を行ったり、被加工物と被加工物中の集光点アレイの相対的な位置を駆動しながら加工を行うことにより、空間的に三次元的な微細周期構造を被加工物中に容易に作製することが出来る。例えば被加工物以外を固定して、被加工物を圧電素子などで支持して圧電素子を電氣的に駆動するものが挙げられる。これにより被加工物を電氣的に駆動制御することができ被加工物と集光点アレイを相対的に駆動制御することができる。

【0021】

光ファイバ束をなす光ファイバの端に微小レンズが具備されていない場合、光ファイバに入射された光源からの光は周期的に配列された方の端から発散光として出射される。また、光ファイバ束をなす光ファイバの端に焦点距離の短い微小レンズが具備されている場合は、光ファイバに入射された光源からの光は光ファイバの微小レンズが具備された方の端から集束光として出射されて焦点を結んだあと発散光として伝播し発散する。このように、端に微小レンズが具備されている場合でも具備されていない場合でも光ファイバから発散光が発生でき、光ファイバ束からは発散光群を発生させることが出来る。特に光ファイバの端に焦点距離の短い微小レンズを具備した場合は、微小レンズ自体を制御することにより、出射される発散光を制御することが出来る。

【0022】

光ファイバ束の発散光群が出射される方の端では、光ファイバ束をなす複数の光ファイバの端が周期的に配列されており、この配列により発散光群中の光の強度分布を制御できる。さらに光ファイバ束の発散光が出射される方の端付近において各光ファイバの向きを制御することにより、発散光群中の光の強度分布を制御できる。

【0023】

(集光点アレイの制御)

本発明の微細周期構造作製方法は、複数箇所から発生された光を被加工物に入射することにより被加工物中に微細周期構造を作製するものである。この際、入射光群の集光点アレイが被加工物中に位置するように集光点アレイと被加工物との相対位置を制御して、作製を行う。

【0024】

本発明の微細周期構造作製方法において、集光点アレイ制御手段を用いることもできる。集光点アレイ制御手段とは、集光点アレイをなす集光点の相対位置または相互の間隔を制御するためのものである。集光点アレイ制御手段は、光源群として、マスク、微小レンズアレイ基板、光ファイバ束のいずれを用いた場合においても、集束点アレイを制御するものとする事が出来、例えば集光点アレイ制御手段に一つの凸レンズを用いた場合、被加工物に入射する前の光を一つの凸レンズを透過させると、集光点アレイ中の各集光点間の間隔は小さくなり、より小さな微細周期構造を作製することが出来る。逆に集光点アレイ制御手段に一つの凹レンズを用いれば、各集光点間の間隔は大きくなり被加工物中に作製される微細周期構造の周期を大きくすることも出来る。

【0025】

マスクを用いて光源群を構成した場合は、マスクの面内に配列された微小孔の径を変化させたり、微小孔の配列または周期を変化させることにより、収束光または発散光の空間

分布を制御することが出来、強度分布または干渉形状を制御することができ、容易に自由度の高い加工、作製を行うことが出来る。例えば、マスクを温度により伸縮する材料で作製したり、圧電素子などの電気による伸縮材料などで作製することにより、マスクの微小孔の径、配列の制御を行うことが出来る。

【0026】

光ファイバ束を用いて光源群を構成した場合、集光点アレイ制御手段としては、光ファイバ束の微小レンズを有する方の端における光ファイバ束を構成する光ファイバの端の配列を制御することにより、被加工物中の集光点アレイ中の各集光点アレイの相対位置または間隔を制御することも出来る。このように本発明の微細周期構造作製方法に集光点アレイ制御手段を用いることにより、被加工物中に作製する微細周期構造の周期やサイズを容易に制御することが可能である。

【0027】

また本発明の微細周期構造作製方法において、光源群として光ファイバ束を用いる場合、光ファイバ束をなす光ファイバのうち少なくとも一本の光ファイバに光スイッチを設けることにより、集光点アレイの配列すなわち作製する微細周期構造を制御することが出来る。例えば、一方の端に微小レンズが配置された三本の光ファイバにより、三つの微小レンズの中心が二次元的に三角形を形作るように光ファイバ束を構成し、三本全ての光ファイバに光スイッチを設けた場合、集光点アレイの配列を一つの点、三方向に並ぶ二つの点、三角形を形作る三つの点、というように制御することが可能である。光スイッチとしては例えばAO素子（音響光学素子）などが挙げられる。また一回目の加工の後、光ファイバに設けられた光スイッチによりスイッチングをして二回目の加工を行えば、一回目の加工により作製される構造と二回目により作製される構造を異なるものにすることが出来るし、さらに被加工物に集束光群を入射しながらまた集光点アレイと被加工物との相対位置を変化させながら、光ファイバに設けられた光スイッチにより時間とともに周期的にスイッチングを行うことにより、空間的に三次元的に複雑な微細周期構造を作製することが出来る。

【0028】

また本発明の微細超周期構造作製装置に、被加工物の温度を制御するための温度制御機構を設けることにより、加工前後、加工中の被加工物の温度を制御することが出来る。被加工物の温度を温度制御機構により制御することにより、環境の温度変化などによる加工精度の低下を免れることができ、精度の高い加工を実現することが出来る。

【実施例1】

【0029】

図1に本発明の微細周期構造作製装置の構成例を示す。図中座標で示すようにxyz方向を定義する。101は色素レーザーで本明細書中の光源とし、波長700nmのレーザー光109を出射するものであり、レーザー光109のビーム径は約1mmである。102はマイクロレンズアレイ基板で本明細書中の微小レンズアレイ基板とし、直径約20μmのマイクロレンズが面内に100×100の正方格子状のマトリックスを形成するように配列されている。色素レーザー101とマイクロレンズアレイ基板102をまとめて本明細書における集束光群発生機構の例とする。104は被加工物として光硬化樹脂をガラスセル103に入れて配置したものである。また105はPZT素子を内蔵したxyz微動機構であり、制御装置108によりxyz微動機構105を制御してガラスセル103をxyz方向に微駆動することが出来る。また106はモーターを内蔵したxyz粗動機構であり、制御装置108によりガラスセル103をxyz方向に粗駆動することが出来る。また107は色素レーザー101と微小レンズアレイ基板102を支持する台である。制御装置108は台107に対するガラスセル103の相対的な位置を電氣的に駆動制御するためのものであり、台107とxyz微動機構105とxyz粗動機構106と制御装置108をまとめて、本明細書における駆動制御装置の例とし、図2に201として示す。112は装置を支える固定台である。

【0030】

また、図1に示す微細周期構造作製装置を用いた微細周期構造作製方法の例について説明する。この場合、本発明の明細書における集束光群発生機構と集束光群発生手段、駆動制御装置と駆動制御手段は同一のものとみなすことができる。光硬化樹脂104は波長およそ350nmの光に相当する励起エネルギーを付与されることにより、重合反応を起こし光を照射された部分が固化する材料である。色素レーザー101から出射されたレーザー光109をマイクロレンズアレイ基板102のマイクロレンズアレイに透過させることにより、集束光群110に変換し、集束光群110を光硬化樹脂に入射する。光硬化樹脂104の各集束光の集光点が位置する部分では光のエネルギー密度が非常に高いので、光硬化樹脂が集光点付近で二光子過程を経て重合反応を起こして固化する。加工開始時、集束光群110の集光点アレイ111が光硬化樹脂104中底の面に接するように駆動制御装置201によりガラスセル103の位置を制御しておく。ガラスセル103の位置を固定したまま例えば集束光群110を5秒間光硬化樹脂中に入射すれば、ガラスセル103内部の底面にガラスセル103の底面に平行な周期約20 μ m、固化領域約200nmの二次元の微細周期構造を作製することができる。この時の微細周期構造の領域はレーザー光のビーム径が約1mmであったため直径約1mmであった。また、この一度目の加工の後、駆動制御装置201によりガラスセルをx方向に10 μ m移動させて固定し、集束光群110を光硬化樹脂に入射すれば一度目の加工と二度目の加工により、ガラスセル103内部の底面に平行な周期約10 μ m、固化領域約200nmの二次元の微細周期構造を作製することが出来る。収束光群の強度、入射時間などを調節することにより任意のサイズの領域を固化領域を作製することが出来る。また加工開始直後からガラスセル103を駆動制御装置201によりxy面内で直径5 μ m円形にある速さで駆動しながらまた負のz方向にガラスセル103をある速さで駆動しながら、集束光群を光硬化樹脂104に入射することで、光硬化樹脂104中にz方向に平行ならせん状の固化領域がxy平面に平行な方向に配列した微細周期構造を作製することが出来る。このように本発明の微細周期構造作製装置を用いた微細周期構造作製方法により容易に三次元の微細周期構造を作製することが出来る。

【実施例2】

【0031】

本発明の微細周期構造作製装置の集束光群発生機構として、光ファイバ束を用いる構成の例を図6に示す。図6中座標に示すようにxyz方向を定義する。図6中の601は色素レーザーであり波長700nm、ビーム径約1mmの平行光であるレーザー光609を出射するものである。また402は光ファイバ束でありレーザー光609を集束光群610に変換する。色素レーザーと光ファイバ束とそれらを支持する台606をまとめて本発明の微細周期構造作製装置における集束光群発生機構とする。また614は凸レンズでレンズホルダー613に支持されており、集束光群610中の集束光の向きを変えて集光点アレイ612中の各集光点間の距離を制御する集光点アレイ制御機構または集光点アレイ制御手段の例である。ガラスセル602は中に被加工物である光硬化樹脂603が入っており、制御装置607により制御されたxyz微動機構604によりxyz方向に微動制御することが出来、また制御装置607により制御されたxyz粗動機構605によりxyz方向に粗動制御することが出来る。xyz微動機構604、xyz粗動機構605、台606、制御装置607をまとめて駆動制御装置とする。xyz微動機構604にはPZT素子が内蔵されており、数ナノメートルから数マイクロメートルレベルでの微動が可能である。またxyz粗動機構605にはモーターが内蔵されており、数マイクロメートルから数ミリメートルレベルでの粗動が可能である。これら微動と粗動は集束光群発生機構に対してガラスセル602を相対的に移動させるものである。光ファイバ束402を構成する光ファイバ301は図3に示すように直径約100 μ m、長さ約5cmの光ファイバとその一方の端に配置された直径約100 μ mの微小レンズとからなるものである。中心を貫くように空いた六角形の穴を有する光ファイバホルダー402に61本の光ファイバ301を束ねて設置したものを光ファイバ束401とする。全ての光ファイバ301が互いに平行で、図5中にあるように光ファイバ束401の長さ方向に垂直な面に平行な面

内で61個の微小レンズ303が三角格子状に配列するように61本の光ファイバ301は束ねられている。

【0032】

以下、図6に示す微細周期構造作製装置を用いた微細周期構造作製方法について説明する。この場合、本発明の明細書における集束光群発生機構と集束光群発生手段、駆動制御装置と駆動制御手段、集光点アレイ制御機構と集光点アレイ制御手段は同一のものとみなすことができる。光硬化樹脂603は波長およそ350nmの光に相当する励起エネルギーを付与されることにより、重合反応を起こし光を照射された部分が固化する材料である。色素レーザーからのレーザー光609を光ファイバ束402により、光ファイバ束402を構成するそれぞれの光ファイバ301の具備する微小レンズ303から出射される集束光よりなる集束光群610に変換する。集束光群610は集光点アレイ制御機構である凸レンズ614により集束光群のつくる集光点アレイの各集光点間の距離が小さくなるように制御され、新たな集束光群611となる。光硬化樹脂603の各集束光の集光点が位置する部分では光のエネルギー密度が非常に高いので、光硬化樹脂603が集光点付近で二光子過程を経て重合反応を起こして固化する。加工開始時、集束光群611の集光点アレイ612が光硬化樹脂603中の底の面に接するように駆動制御装置によりガラスセル602の位置を制御しておく。ガラスセル602の位置を固定したまま例えば集束光群611を5秒間光硬化樹脂中に入射すれば、ガラスセル602内部の底面にガラスセル602の底面に平行な周期約10 μ m、固化領域約200nmの二次元の微細周期構造を作製することができる。凸レンズ614を配置しない場合約100 μ mであった各集光点間の距離は、凸レンズ614を配置して集束光群を凸レンズ614に透過させることにより、約20 μ mにすることが出来た。また、この一度目の加工の後、駆動制御装置によりガラスセルをx方向に10 μ m移動させて固定し、集束光群611を光硬化樹脂に入射すれば一度目の加工と二度目の加工により、ガラスセル602内部の底面に平行な周期約10 μ m、固化領域約200nmの二次元の微細周期構造を作製することが出来る。収束光群の強度、入射時間などを調節することにより任意のサイズの領域を固化領域を作製することが出来る。また加工開始直後からガラスセル602を駆動制御装置によりxy面内で直径5 μ mの円形にある速さで駆動しながらまた負のz方向にガラスセル602をある速さで駆動しながら、集束光群を光硬化樹脂603に入射することで、光硬化樹脂603中にz方向に伸びるらせん状の固化領域がxy平面に平行な方向に配列した微細周期構造を作製することが出来る。このように本発明の微細周期構造作製装置を用いた微細周期構造作製方法により容易に三次元の微細周期構造を作製することが出来る。

【実施例3】

【0033】

本発明の微細周期構造作製装置の発散光群発生機構として光源とマスクを用いた場合の装置構成の例を実施例3として説明する。本実施例に用いたマスクを図7に示す。マスク701は厚さおよそ200マイクロメートルのSi基板702の面内方向に3 \times 3のマトリックス状に径10マイクロメートルの微小孔703が間隔10マイクロメートルで周期的に配列されたマスクである。図8は図7に示すマスクを面に垂直な方向から見た図であり、図中におけるA-Bでの断面図が図9に示すものである。図8中A-Bでの断面でのマスク701を示す図が図9中の701である。図9はマスク701の一方の面から光を入射した場合にもう一方の面から発散光群が出射される様子を示すものである。マスク701の一方の面から平行光901を入射すると入射された光は各微小孔703を通りマスク701のもう一方の面から発散光902として出射される。このとき9個の発散光902は9個の微小孔703から出射され、これら9個の発散光は空間的な重なり903および904を有する。またこれら9個の発散光よりなる出射光の領域をまとめて発散光群とする。すなわち本実施例のマスクにより発散光群を発生させることができる。

【0034】

図10に装置としての構成例を示す。図10中、発散光群発生機構1002は光源としての波長355ナノメートルの光を出射するHeCdレーザー1001とマスク701に

より構成されており、発散光群発生機構 1002 からの発散光群 905 をガラスセル 1004 に入った被加工物 1005 に導入できる構成となっている。被加工物 1005 としては、HeCd レーザーの波長より長い波長帯域に重合反応のための吸収帯域を持つエポキシ系の光効果樹脂を用いた。また本実施例における発散光群 905 は同一の波長を持つ発散光よりなるものであるので加工により作製される微細超周期構造は円柱構造が並ぶものとなる。本実施例ではさらに三次元構造を作製するために波長 355 ナノメートルの二つの HeCd レーザー 1006 を横方向から互いに向かい合うように配置した。HeCd レーザー 1006 からの光 1007 はビームエキスパンダー 1008 によりそのビームスポットを広げられ、被加工物 1005 に入射されて互いに干渉して被加工物中で位置次元方向に定在波を形成する。本実施例の構成をとる微細超周期構造作製装置により、三次元の微細超周期構造を容易に短時間で精度よく作製することができる。

【0035】

本発明の微細超周期構造作製方法の例について、本実施例の図 10 に示す微細超周期構造作製装置を用いて説明する。この場合、本発明の明細書における発散光群発生機構と発散光群発生手段を同一のものとしてみなすことができる。図 10 において、発散光群発生手段をなす HeCd レーザー 1001 からのスポット径約 2 ミリメートルのレーザー光 1003 をマスク 701 の一方の面に入射し、マスクのもう一方の面から各微小孔により回折された 9 個の発散光よりなる発散光群 905 を発生させる。この発散光群 905 をガラスセル 1004 に入った被加工物である光効果樹脂 1005 に入射させる。発散光群をなす 9 個の発散光は空間的な重なりを有しているため、光硬化樹脂 1005 中で干渉し干渉形状を光の強度分布として形成する。この光の強度分布のうち光硬化樹脂が硬化するための重合反応を開始するのに必要なエネルギー強度以上の強度を有する部分にある光硬化樹脂が硬化し、それ以外の部分の光硬化樹脂は硬化せずに液体のまま残る。さらに本実施例においては波長 355 ナノメートルの HeCd レーザー 1006 を図のように配置する。HeCd レーザーからのスポット径 2 ミリメートルのレーザー光 1007 をビームエキスパンダー 1008 によりスポット径約 2 センチメートルのビーム 1009 に変換する。ビーム 1009 は互いに平行に向かい合うように被加工物である光硬化樹脂 1005 中に導入され、互いに干渉し光硬化樹脂 1005 中で定在波を形成する。発散光群 905 の場合と同じように、光硬化樹脂 1005 中の光の強度が光硬化樹脂が硬化するための重合反応を開始するのに必要なエネルギー強度以上の強度を有する部分にある光硬化樹脂が硬化し、それ以外の部分の光硬化樹脂は硬化せずに液体のまま残る。最終的に硬化せずに残った液体状の光硬化樹脂を洗浄して取り除けば、上記の光の強度分布に応じた形状の微細超周期構造が光硬化樹脂 1005 の硬化した部分として残り、微細超周期構造を作製することができる。

【実施例 4】

【0036】

本発明の微細超周期構造作製装置の発散光群発生機構を光源と光ファイバ束を構成する複数の光ファイバのうち少なくとも一本の光ファイバの複数の光ファイバが周期的に配列されている方の端に微小レンズを具備した複数の光ファイバよりなる光ファイバ束とで構成した場合の、微細超周期構造作製装置の例について説明する。

【0037】

図 11 はファイバホルダー 1101 に支持された光ファイバ 1103 などの 9 本の光ファイバからなる光ファイバ束 1102 に発散光を発散させるための入射光 1105 などが入射される様子を示している。また光ファイバ束 1102 をなす光ファイバの発散光が出射される方の端には微小レンズ 1107 が具備されている。本実施例では、各光ファイバに入射する光の波長をそれぞれ異なるものとして、微小レンズ 1107 から出射される複数の発散光群により形成される干渉構造つまり光の強度分布が三次元的なものになるようにしている。例えば図 11 での入射光 1105 と 1106 の波長の値は異なる。光ファイバの直径は 50 マイクロメートルで、その先端をレーザーなどにより溶融することにより先端を微小レンズ化してある。ファイバホルダー 1101 はフォトリソグラフィにより光

ファイバーをセットするための微小孔を面内で二次元的な周期配列をなすようにSi基板に形成したものである。

【0038】

図12に光源と光ファイバ束により発散光群発生機構を構成した場合の、微細超周期構造作製装置の構成例を示す。1201、1202、1203はそれぞれ紫外光を発するレーザーであり、出射する光の波長はそれぞれ320、340、360ナノメートルである。レーザーからの光をファイバ結合器1204により光ファイバ束1102をなすそれぞれの光ファイバ1206に結合し、光ファイバ1206先端に取り付けられた微小レンズ1107から発散光を発生させて、それらの発散光よりなる発散光群1213をガラスセル1208に入った被加工物である光硬化樹脂1209に入射する。1212は装置の土台であり、ファイバホルダー1101は土台1212のファイバホルダー支持部により、支持されている。また光ファイバ束1102をなす各光ファイバ1206の一部には非線形光学材料を用いた光スイッチ1205が設けられており、これらの光スイッチ1205を配線1210を介して光スイッチ駆動装置1211により制御し、光ファイバ1206を通る光をスイッチングすることができる。

【図面の簡単な説明】**【0039】**

【図1】本発明の実施例1の微細周期構造作製装置を示す図である。

【図2】本発明の実施例1の微細周期構造作製装置に用いる駆動制御装置を示す図である。

【図3】本発明の実施例2の微細周期構造作製装置に用いる光ファイバーを示す図である。

【図4】本発明の実施例2の微細周期構造作製装置に用いる光ファイバー束を示す図である。

【図5】本発明の実施例2の微細周期構造作製装置に用いる光ファイバー束の配列を示す図である。

【図6】本発明の実施例2の微細周期構造作製装置を示す図である。

【図7】本発明の実施例3に用いるマスクを示す図である。

【図8】本発明の実施例3に用いるマスクを示す図である。

【図9】本発明の実施例3のマスクにより発散光群を発生させる様子を示す図である。

【図10】本発明の実施例3の微細超周期構造作製装置を示す図である。

【図11】本発明の実施例4に用いる光ファイバ束に光を入射する様子を示す図である。

【図12】本発明の実施例4における微細超周期構造作製装置を示す図である。

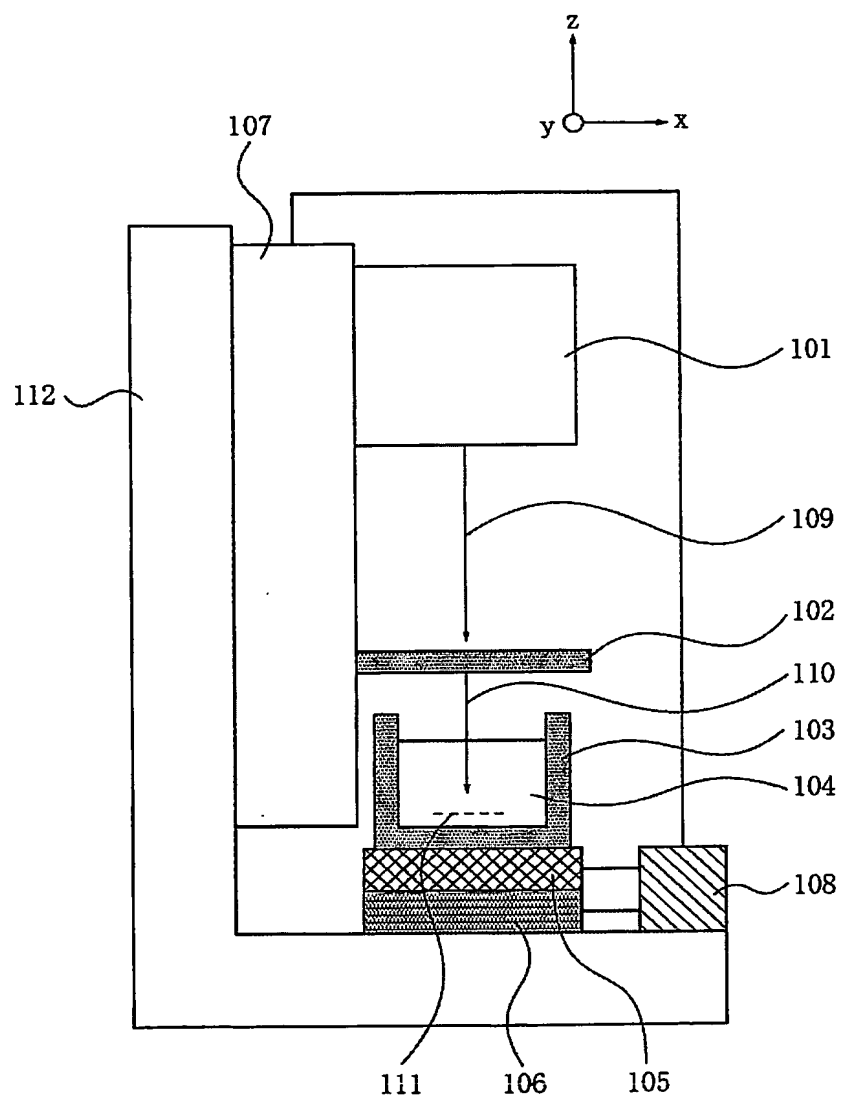
【符号の説明】**【0040】**

- 101 色素レーザー
- 102 マイクロレンズアレイ基板
- 103 ガラスセル
- 104 光硬化樹脂
- 105 x y z 微動機構
- 106 x y z 粗動機構
- 107 台
- 108 制御装置
- 109 レーザー光
- 110 集束光群
- 111 集光点アレイ
- 112 固定台
- 201 駆動制御装置

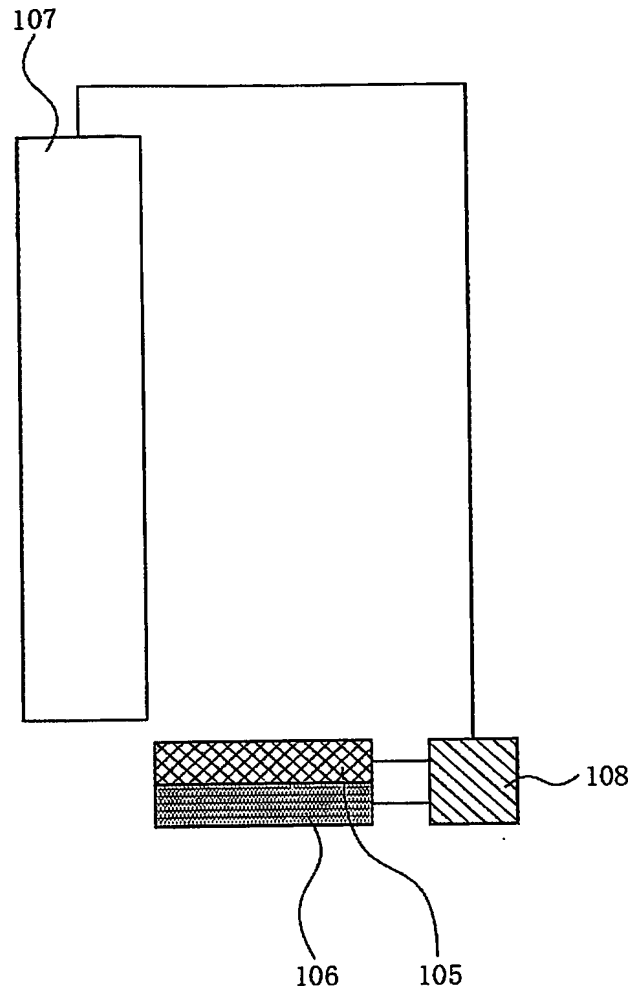
301 光ファイバ
302 光ファイバ
303 微小レンズ
401 光ファイバ束
402 光ファイバホルダー
601 色素レーザー
602 ガラスセル
603 光硬化樹脂
604 x y z 微動機構
605 x y z 粗動機構
606 台
607 制御装置
608 固定台
609 レーザー光
610 集束光群
611 集束光群
612 集光点アレイ
613 レンズホルダー
614 凸レンズ
701 マスク
702 Si 基板
703 微小孔
901 平行光
902 発散光
903 重なり
904 重なり
1001 HeCd レーザー
1002 発散光群発生手段
1003 レーザー光
1004 ガラスセル
1005 被加工物または光硬化樹脂
1006 HeCd レーザー
1007 レーザー光
1008 ビームエキスパンダー
1009 ビーム
1101 ファイバーホルダー
1102 光ファイバ束
1103 光ファイバ
1104 光ファイバ j
1105 入射光
1106 入射光
1107 微小レンズ
1201 半導体レーザー
1202 半導体レーザー
1203 半導体レーザー
1204 ファイバ結合器
1205 光スイッチ
1206 光ファイバ
1207 ファイバーホルダー支持部
1208 ガラスセル

- 1 2 0 9 被加工物または光硬化樹脂
- 1 2 1 0 配線
- 1 2 1 1 光スイッチ駆動装置
- 1 2 1 2 土台
- 1 2 1 3 発散光群

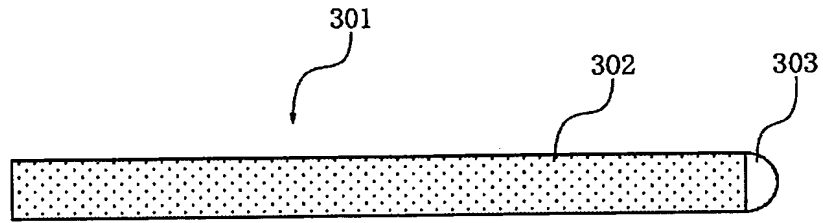
【書類名】 図面
【図 1】



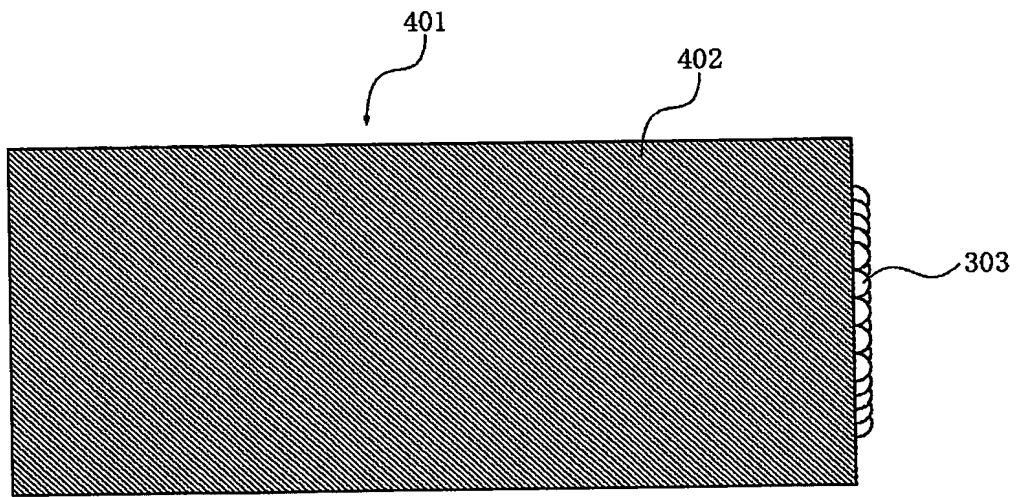
【図 2】



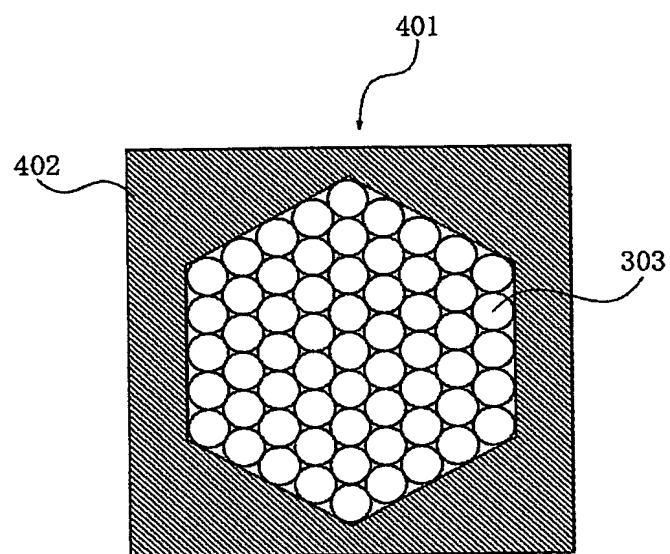
【図 3】



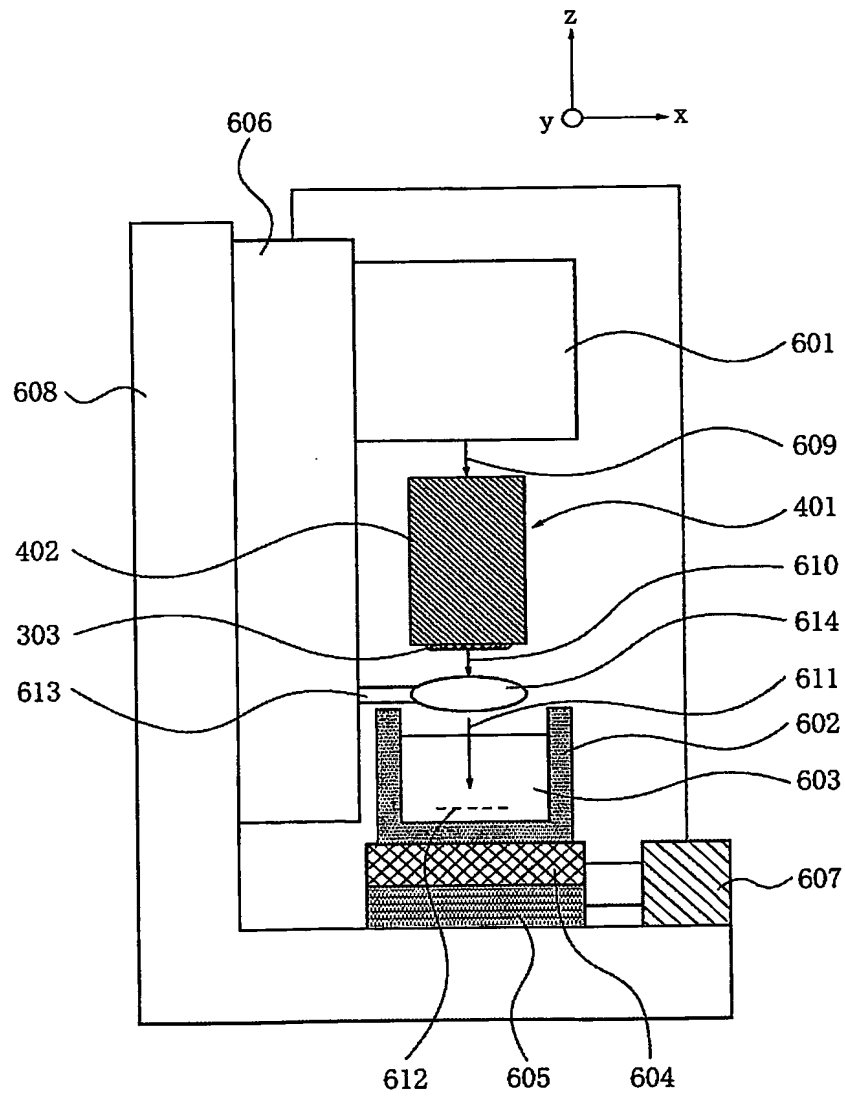
【図 4】



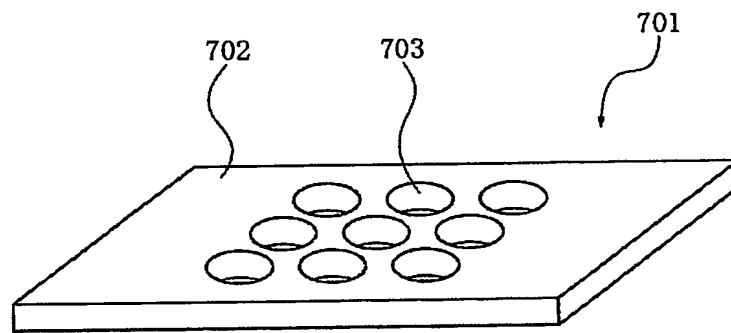
【図 5】



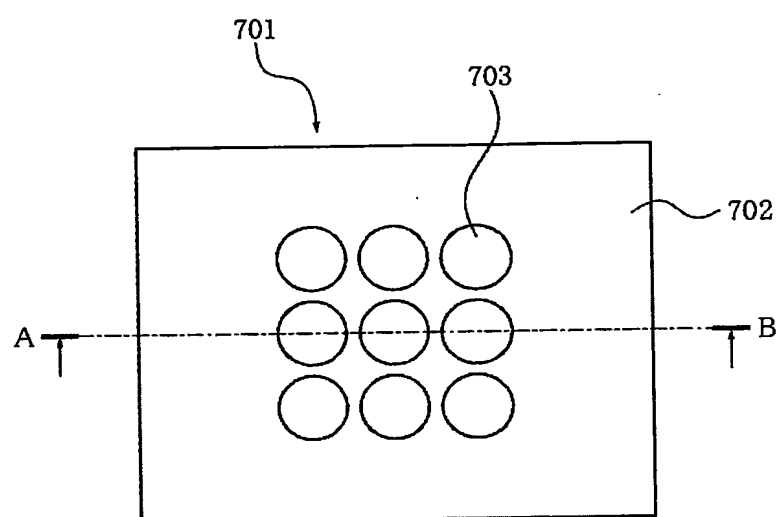
【図 6】



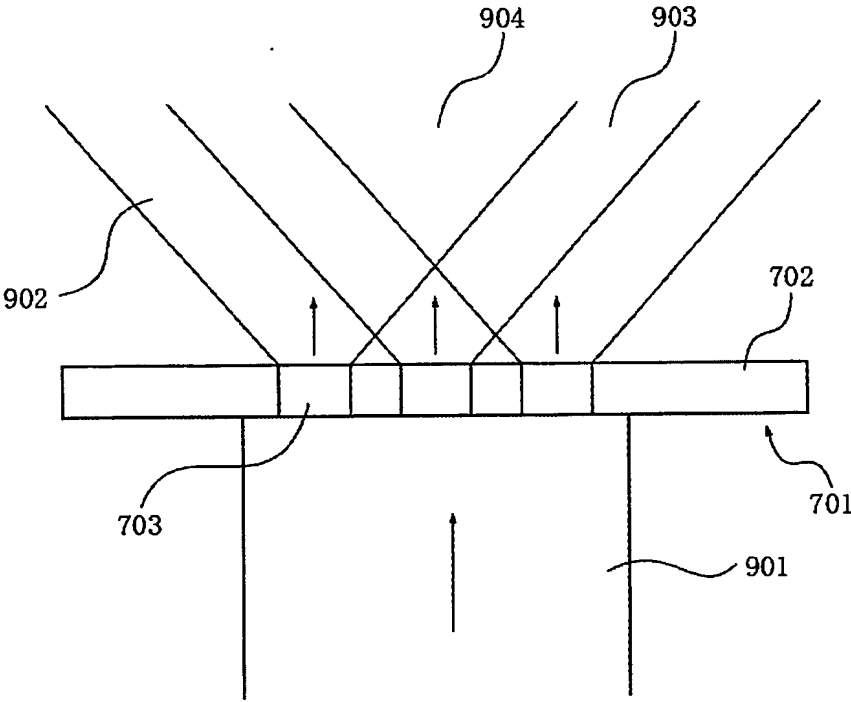
【図 7】



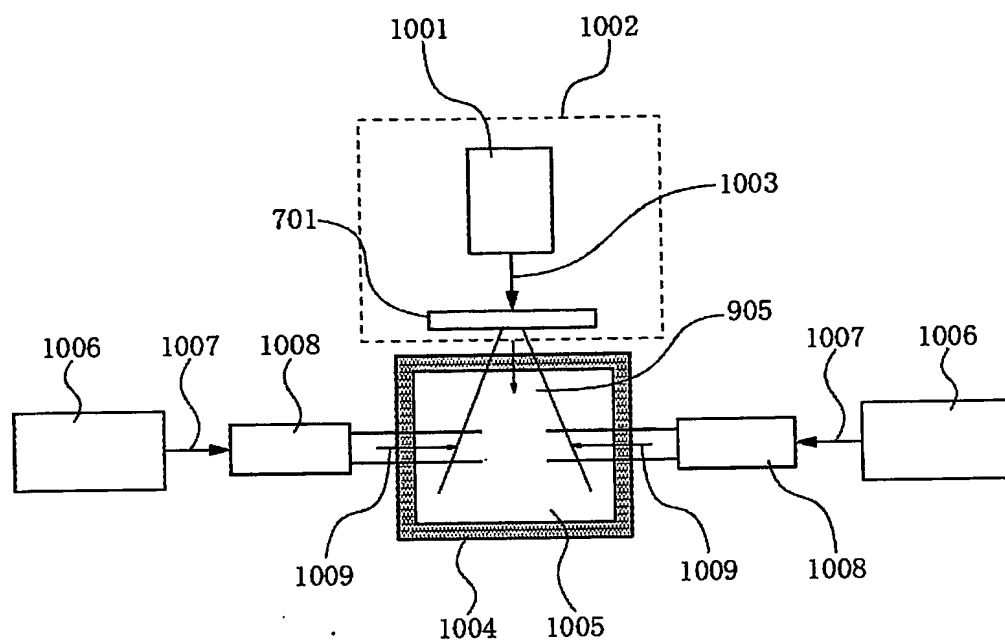
【図 8】



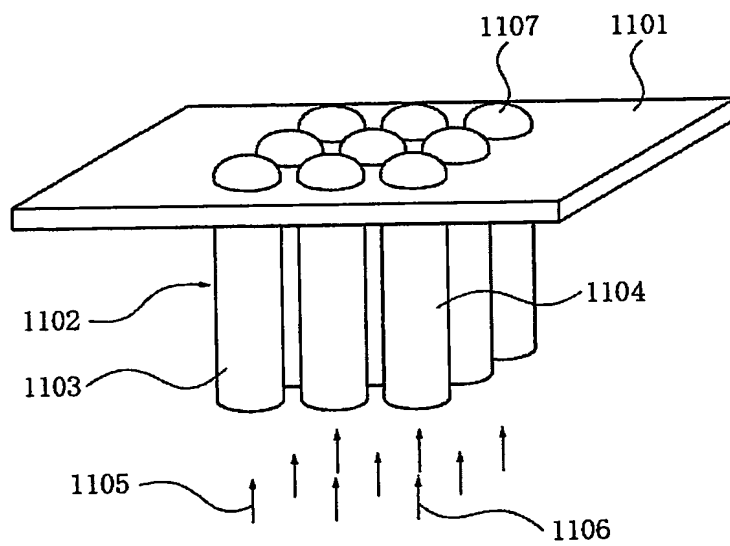
【図 9】



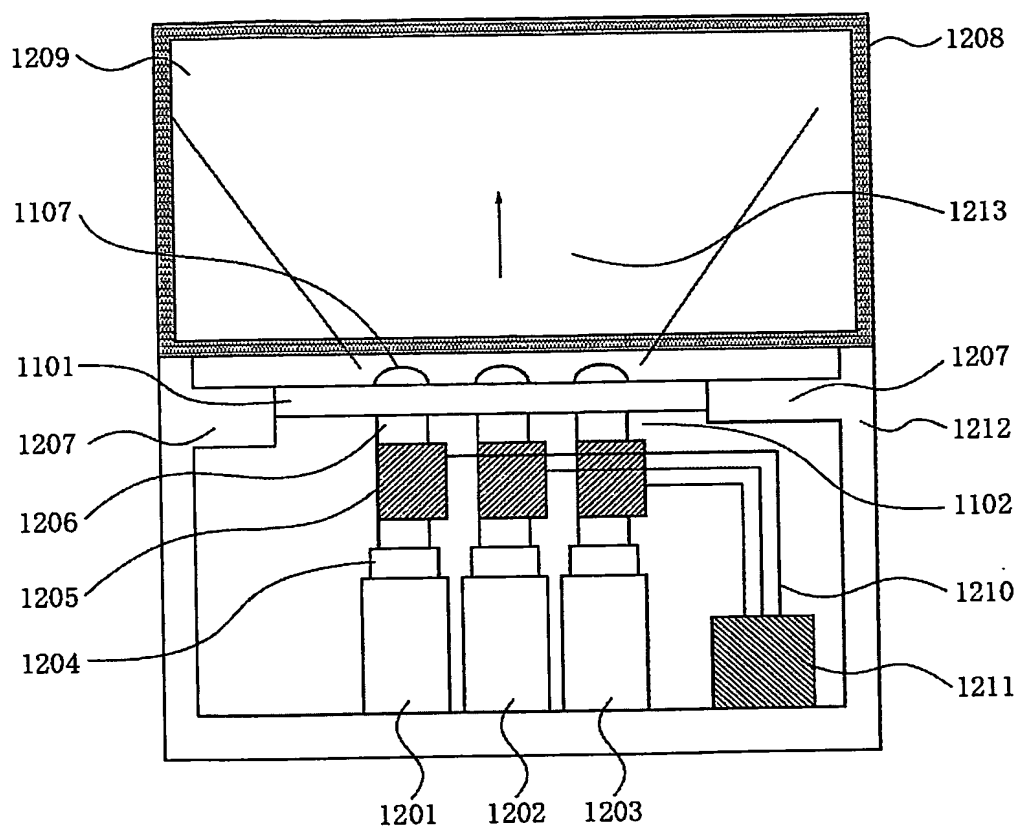
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 精度の高いフォトニック結晶を製造する。

【解決手段】 励起エネルギーにより反応を起こして物性が変化する被加工物に、前記励起エネルギーの自然数分の一の光子エネルギーを含む光を入射させて被加工物を加工し、周期構造体を製造する方法であって、前記励起エネルギーの自然数分の一の光子エネルギーを含む光を、2次元の周期で規則的に配置した複数の光源群から発生させ、前記光源群からの光を被加工物内の複数の集光点に集光するように照射することにより、前記集光点を中心とした領域に前記光反応を生じさせ、前記被加工物中に物性の変化した領域の周期構造を形成することを特徴とする。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 3 4 4 4 1 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 0 0 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

氏 名

キヤノン株式会社